

# 2017P07

## The International Mathematical Modeling Challenge (IM<sup>2</sup>C)

### Лист аннотации

С появлением авиасообщения появился способ очень быстро перемещаться из одной точки мира в другую. К сожалению, за это приходится платить не только авиакомпаниям. При пересечении нескольких часовых поясов часто возникает расстройство суточных биоритмов - джетлаг, симптомами которого могут быть бессонница, головная боль, слабость и ухудшения мозговой активности. Также при столь быстрой смене климата человек может испытывать дискомфорт, связанный с акклиматизацией. Эти факторы приводят к ухудшению мозговой активности участника конференции. Созданная нами модель помогает выбрать такое место, в котором международная встреча, на которую съедутся люди со всех концов земли, пройдет наиболее продуктивно. Для этого карта Земли была разделена на сектора, каждый из которых обладает набором характеристик, свойственных этой территории. Мы составили базу данных, содержащую информацию о обитаемости, климате, часовом поясе, крупном городе и его координатах для каждого сектора. Мы вывели формулы для расчета оптимального часового пояса, климатической зоны и стоимости проведения встречи. Используя эти данные, программа выдает лучшее место проведения конференции. Наша модель обладает невысокой точностью климатических данных, так как они определены для всего климатического пояса в целом. Однако это позволило нам реализовать алгоритм, для работы которого не требуется определять, насколько весомы используемые параметры относительно друг друга, что обычно является наиболее сложной частью работы. Для улучшения работы нашей модели можно рассмотреть дополнительные факторы, например, возраст, увеличить точность данных, разбить карту на более маленькие сектора. После первого запуска программы мы получили результат: малую конференцию необходимо проводить в Астане. После существенной доработки формул результат изменился: выяснилось, что лучше всего проводить Малую конференции в китайском городе Хух-Хото, а Большую - в Берлине.

## Введение

При перемещении из одной страны в другую у людей, как правило, ухудшается самочувствие и, как следствие, падает работоспособность. От нас требовалось создать такой алгоритм, который, получая на вход некоторые данные об участниках мероприятия, выдавал бы в качестве результата место, в котором встреча пройдет наиболее продуктивно.

Нами была разработана модель, которая позволяет определить наилучшее место для проведения подобной встречи. Она учитывает расположение, климатические условия, часовой пояс домашних городов участников и даты (месяца) собрания.

## Определения

Понятие	Определение
Джетлаг	Явление несовпадения биоритма человека с дневным ритмом, вызванное быстрой сменой часовых поясов при перелёте на самолёте. При этом человек может испытывать сонливость, головные боли и недомогание.
ЭУТ	Эффективность умственного труда, мера, введенная нами для оценки влияния различных факторов на продуктивность встречи
Иерархия приоритетности	Четкое выставление последовательности, в которой каждый следующий элемент важнее предыдущего
Сектор	Территория, высеченная вертикальными и горизонтальными линиями на карте
Инициализация	Процесс, во время которого программа работает с данными, заданными в виде таблиц
Интерполяция	Задание функции степени $n$ , проходящей через $n+1$ точек

## Допущения

1	Источники, использованные нами, являются достоверными.	Так как у нас не было времени на проведение самостоятельных исследований, мы вынуждены были опираться на существующие работы.
2	Интерполяция дает верную зависимость на интересующем нас интервале.	Погрешность интерполяции незначительна
3	Зависимость на графике 1 линейна для первых трех дней.	Зависимость на данном отрезке близка к линейной, а с линейной зависимостью намного проще работать.
4	Каждый человек одинаково переносит перелет, независимо от индивидуальных особенностей.	Контингент нашей конференции не варьируется от юношеского возраста до старческого, а именно при подобных различиях проявления климатических влияний одинаковых переездов было бы критично для модели.
5	Можно задать однозначное отношение влияний перелетов в разные “по знаку” климатические пояса.	Согласно предыдущему допущению различия для всех людей будут одинаковы, поэтому справедливо будет принять за него среднее значение.
6	Влияние акклиматизации пропорционально тому, насколько новый климат отличается от домашнего.	Основываясь на допущении №6, мы считаем, что она повлияет на каждого одинаково. А исходя из того, что места проведения сравниваются относительно, иного и не требуется
7	При создании адаптированной карты убрана из рассмотрения Антарктика.	Южнее 60 градусов южной широты нет места для проведения конференции, и население этих мест очень мало.
8	Можно выделить только 24 линии при вертикальном делении.	Джетлаг наблюдается только при перелете из одного часового пояса в другой. Следовательно, нам нужно рассмотреть 24 вертикальные линии, совпадающие с границами часовых поясов.

9	Можно выделить только 21 линию при горизонтальном делении.	Каждому из выделенных участков соответствует своя климатическая зона, а, значит, большего количества делений не требуется.
10	Взяв погоду в 6-ти разных городах одного климатического пояса, мы можем сказать, что для любого города из того же пояса в тот же месяц погода будет одинакова.	При той степени точности, которая нам нужна, нас устраивает точность этого утверждения

### Учтенные и неучтенные параметры

#### 1. Часовой пояс

Этот параметр оказывает максимальное влияние на силу джетлага, поэтому он учтен как один из самых значимых параметров.

#### 2. Климатический пояс

Является одним из двух основных параметров, поскольку изменение климата может привести к возникновению акклиматизации, из-за чего ЭУТ участника может очень сильно упасть.

#### 3. Стоимость полета

Этот параметр учитывался как вторичный. Если мы нашли по первым двум параметрам несколько зон, то с помощью третьего можем окончательно определить одну.

#### 4. Возраст

Из исследований известно, что скорость секреции мелатонина и его количество в крови напрямую связаны со временем, которое займет восстановление после перелета. У пожилых людей количество клеток, ответственных за синтез мелатонина сильно снижается, его секреция падает, поэтому с возрастом джетлаг оказывает все большее влияние на самочувствие после перелета. Нами была установлена зависимость выработки мелатонина от возраста, однако, насколько возрастное снижение секреции мелатонина влияет на джетлаг, нам выяснить не удалось, поэтому наша модель не рассматривает возраст как один из параметров.

## Проведение численного эксперимента мы разделили на несколько этапов:

- 0) Подготовительный этап
  - 0.1) Адаптация карты
  - 0.2) Создание базы данных
- 1) Инициализация - что это такое?
- 2) Анализ первостепенных факторов
  - 2.1) Синдром смены часового пояса
  - 2.2) Влияние климата
  - 2.3) Пересечение

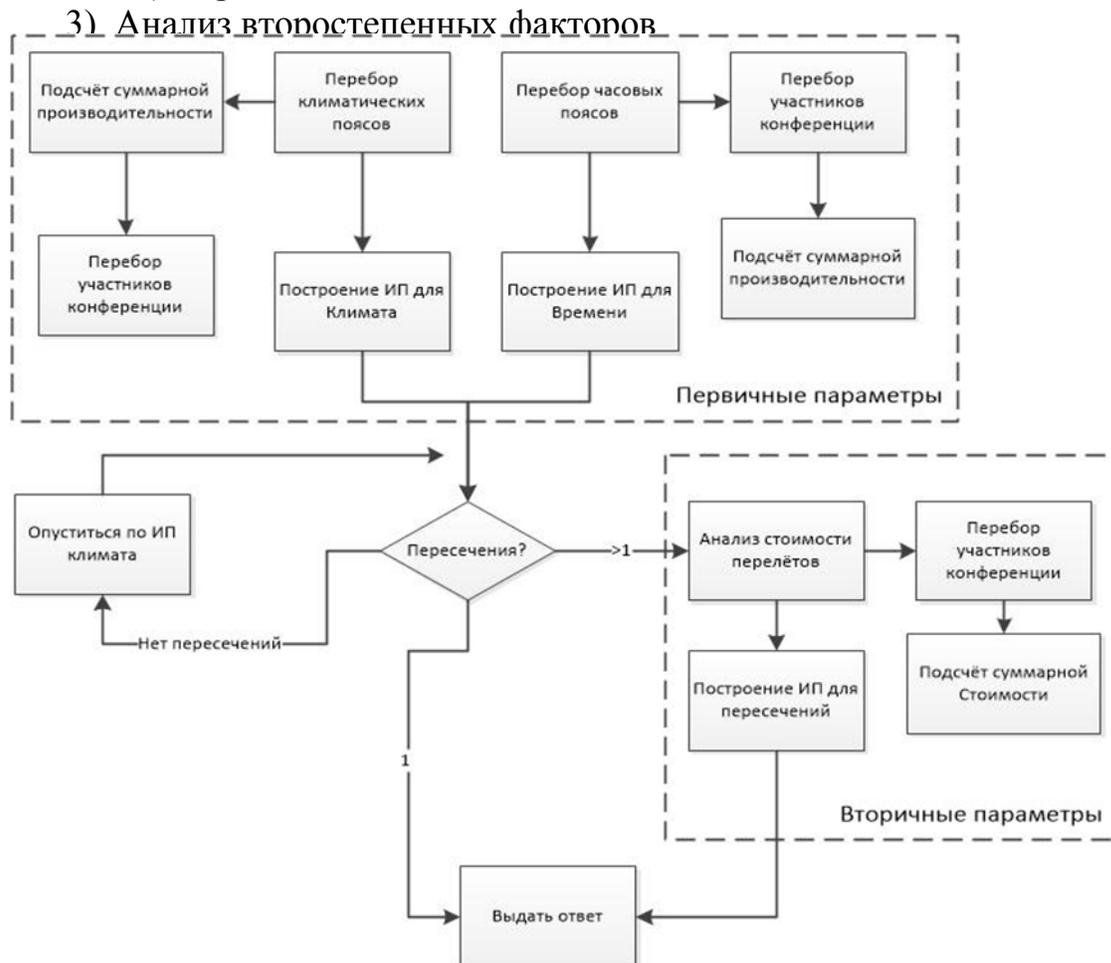


Схема 1

## 0. Подготовительный этап

### 0.1. Адаптация карты

Для нашей модели мы адаптировали физическую карту Земли, разделив её вертикальными и горизонтальными линиями на зоны.

Вертикальные линии:

Джетлаг наблюдается только при перелете из одного часового пояса в другой. Следовательно, нам нужно рассмотреть минимум 24

вертикальные линии, совпадающие с границами часовых поясов. Если мы возьмем больше, это количество не повлияет на точность, т.к. человек, перемещаясь внутри одной часовой зоны, не будет испытывать джетлаг, а, значит, дополнительное деление просто бессмысленно.

Горизонтальные линии:

Первоначально мы собирались создать 13 линий: по одной на каждый климатический пояс. От этой идеи пришлось отказаться, поскольку пояса расположены неравномерно, и решили разделить карту горизонтальными линиями так, чтобы в каждом из получившихся секторов был один преобладающий климатический пояс. Оптимальным оказалось деление на 20 секторов. При таком разбиении перемещение человека в заданной зоне почти никак не влияет на его состояние.

Таким образом, мы поделили нашу модель на 480 участков, каждый из которых соответствует элементу матрицы.

### 0.1 Создание базы данных

Каждый элемент данной матрицы обладает следующими характеристиками:

- Возможность проведения конференции
- Часовой пояс
- Климатическая зона
- Крупный город и его координаты (если есть)

В таблице возможности проведения конференции (таблица 1) каждой клетке присваивалось число в зависимости от условий проживания: 1 – можно проводить конференцию, 0 – нельзя. Все океаны, пустыни, горы и территории без аэропортов или крупных городов были признаны непригодными для проведения.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0
0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 1

В таблице 2 каждой зоне был присвоен номер её климатического пояса. Мы рассматривали и горы, и пустыни, и территории без аэропортов, так как участники конференции могут там проживать. Для выполнения



Широта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	78	78	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	68	0	67,3	66	69	71,6	0	71,4	70	0	0	71	71	0	0	0	0
4	60	59,5	65	64,3	0	61	67	66	62,3	62	59	69,5	64	63,5	61	68	65	62	62,5
5	55	55,5	53	55,4	58	54,6	55	64	56	58,4	0	64	0	55	0	58	56	51	58
6	48,5	52,3	50	48,4	51,5	51	49,5	52	52	48,3	0	0	0	0	0	0	47	45	49,5
7	40	41,5	41	41,4	37,5	42,5	43,5	40,5	39,6	43	42,5	0	0	0	0	0	37,5	39	41
8	33	32,5	35	33	32,5	33,4	0	0	31	35,4	0	0	0	0	0	0	34	33	32,5
9	0	0	0	24,4	25	28	0	0	22,6	0	0	0	0	0	0	0	0	25	29,5
10	0	0	0	15	0	18,6	19,4	21	14	0	0	0	0	21	19	0	0	19	20,6
11	12	12	4	11,3	0	12,6	0	10,4	14,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
12	5	3,5	0	2	0	0	3,5	1	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	4	1,5	1	0	0	0	6	5	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	8,5	15	0	0	0	0	0	10	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	14,5	17,5	18,6	0	0	0	0	0	20	19	0	0	0	18	17	0	0	0
16	0	22,3	25,2	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	39,5	0	0	0	0	0	0	31,6	34,5	39,5	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,5	43	37	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Долгота	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	15	15,3	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	17	0	64	76,4	88	102,3	0	128,5	147	0	0	-156	-156	0	0	0	0
4	5	10,5	33	40,3	0	73	86	112	113,6	129,4	150,5	170	177	-160	-149,5	-133,5	-126,5	-114	-92
5	-3	12,3	27,3	37,4	56	73	82	100	124	125	0	177	0	-162,5	0	-134	-120	-114	-94
6	2	13	30	44,3	55	71	82,3	104	113	135	0	0	0	0	0	0	-122	-108	-97
7	-3,5	12,3	28,5	44,5	28	74,3	87,3	111,4	116	131,5	141,4	0	0	0	0	0	-122,3	-104	-87,3
8	-7	13	33	44	60	73	0	0	121	139,4	0	0	0	0	0	0	-118	-112	-95,5
9	0	0	0	46,4	55	77	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	-100	-90
10	0	0	0	44	0	72,5	96	105	121	0	0	0	0	-157,3	-155	0	0	-99	-89
11	-1	15	31	43	0	77	0	106,4	122,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-86
12	-1	11,3	32	45	0	0	98	103	114,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	15	30	38	0	0	0	106,5	119	145,5	145,5	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	13	28	0	0	0	0	0	123	130,5	147	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	13,3	31	47,3	0	0	0	0	0	139	146,5	0	0	0	178	149	0	0	0

Таблица 4

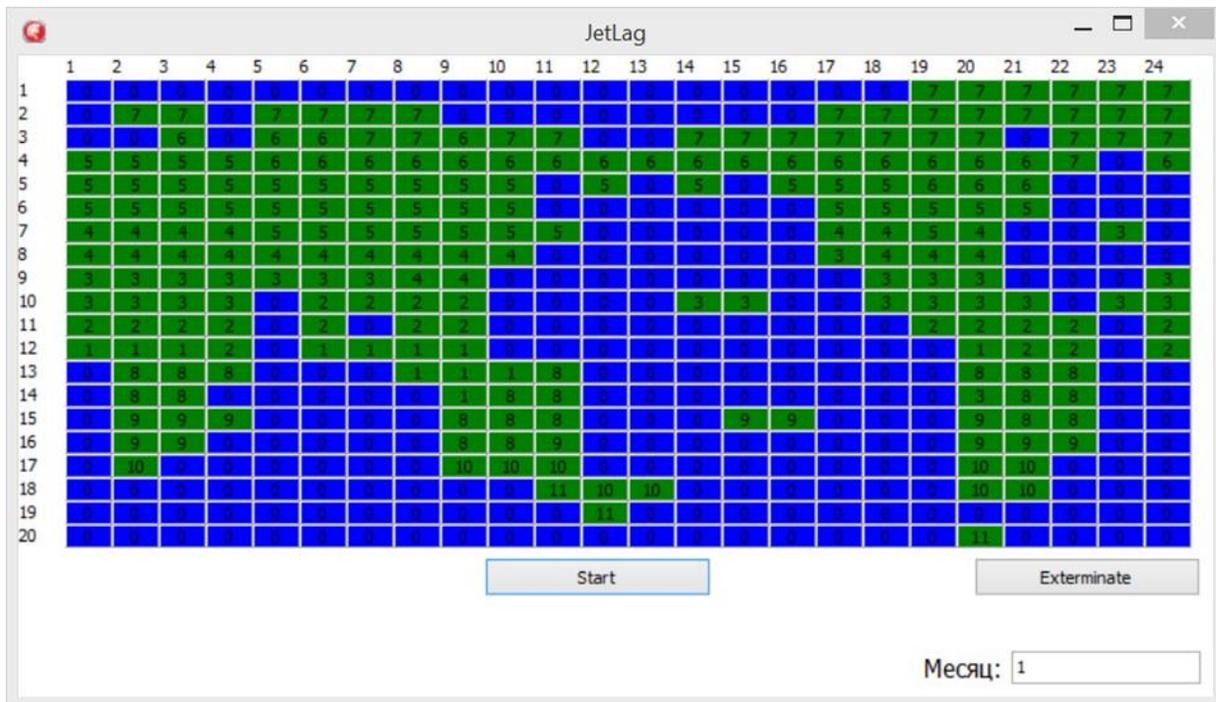
Для каждой климатической зоны были выписаны погодные условия по месяцам. Получилась таблица, содержащая значения средней температуры, давления и скорости ветра для всех месяцев во всех климатических поясах. Для заполнения данных таблиц мы взяли средние значения по всем городам каждого климатического пояса.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Экватори	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Температ	26	26,4	26,6	26,7	26,6	26	25,5	25,7	26	26,3	26,4	26,2
3	Давление	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755
4	Ветер	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5													
6	С.Субэква	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	Температ	22,7	24,1	26,2	28,1	28,8	28,5	28	27,5	27,3	26,7	25,1	23,2
8	Давление	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755	755
9	Ветер	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10													
11	С.Тропич	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	Температ	18,9	19,9	22,1	24,7	26,9	28,2	28,5	28,5	27,3	25,4	22,4	19,8
13	Давление	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730	730
14	Ветер	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
15													
16	С.Субтроп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	Температ	8,3	9,4	12,1	15,7	19,5	22,9	25,5	25,6	22,8	18,9	13,8	9,9
18	Давление	760	760	760	760	760	760	760	760	760	760	760	760
19	Ветер	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
20													
21	С.Умерен	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	Температ	-7,1	-5,5	-0,5	6,3	12,4	16,6	18,9	17,6	12,8	7	0	-5,3
23	Давление	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749	749

Таблица 5

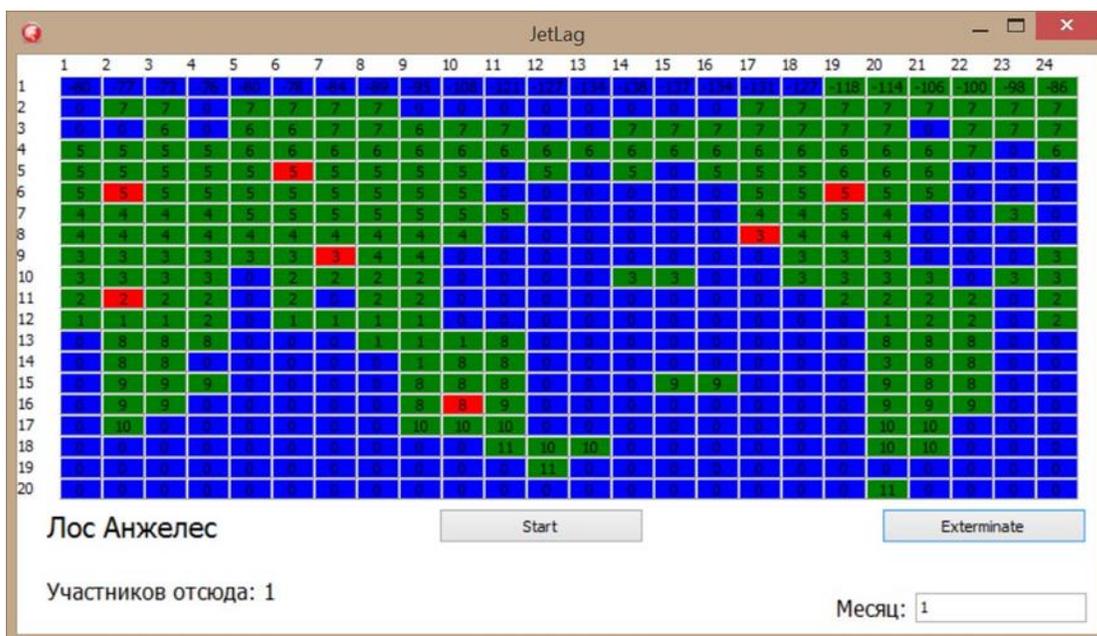
## Инициализация

Программа получила два вида данных – инициализационные и пользовательские. Используя первые, программа построила упрощенную модель Земли.



Изображение 1: Визуальное представление упрощенной модели Земли

Пользователь задает месяц проведения конференции, из каких точек земного шара и сколько учёных летит.



Изображение 2: Поле с введёнными точками отправления

## 2. Анализ первостепенных факторов

### 2.1 Синдром смены часового пояса

Как упоминалось ранее, джетлаг может оказать существенное влияние на продуктивность встречи. Джетлаг зависит не только от количества пересеченных часовых поясов, но и от направления движения полёта: при движении на восток на восстановление требуется значительно больше времени, чем при движении на запад.

Опираясь на информацию, приведенную в статье Resynchronization of circadian oscillators and the east-west asymmetry of jet-lag<sup>1</sup>, мы построили график зависимости последствий джетлага от направления полёта (с востока на запад и с запада на восток). Результаты графика релевантны для первых трёх дней после прилета, так как именно столько идет встреча.

Так как степень тяжести джетлага для всех рассмотренных перелетов снижается по зависимости, близкой к линейной, в первые три дня, мы взяли этот временной промежуток за средний показатель. Также мы вычислили максимальную среднюю степень тяжести джетлага за один день после прилета. В статье сообщается, что максимальные потери эффективности умственного труда, т.е потери ЭУТ, составляют 30%.

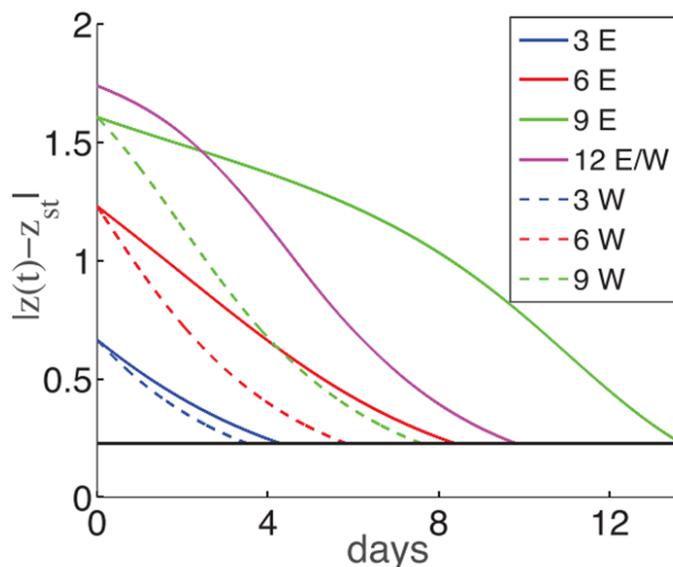


График зависимости степени тяжести джетлага от времени, прошедшего после перелета

График 1

Далее при помощи интерполяционного многочлена Лагранжа, который вычисляется по формуле:

<sup>1</sup> Resynchronization of circadian oscillators and the east-west asymmetry of jet-lag, Chaos, September 2016

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i * l_i(x)$$

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} = \frac{x-x_0}{x_i-x_0} \cdots \frac{x-x_{i-1}}{x_i-x_{i-1}} * \frac{x-x_{i+1}}{x_i-x_{i+1}} \cdots \frac{x-x_n}{x_i-x_n}$$

Здесь мы приведем пример расчета для полета на восток:

$$X_0=0 \quad f(x_0) = 0$$

$$X_1=3 \quad f(x_1) = 7.931$$

$$X_2=6 \quad f(x_2) = 18.1034$$

$$X_3=9 \quad f(x_3) = 26.7241$$

$$X_4=12 \quad f(x_4) = 27.4138$$

$$L_0(x) = \frac{x-3}{-3} * \frac{x-6}{-6} * \frac{x-9}{-9} * \frac{x-12}{-12} = \frac{1}{1944} * (x^4 - 30x^3 + 315x^2 - 1350x + 1944)$$

$$L_1(x) = \frac{x}{3} * \frac{x-6}{-3} * \frac{x-9}{-6} * \frac{x-12}{-9} = -\frac{4}{1944} * (x^4 - 27x^3 + 234x^2 - 648x)$$

$$L_2(x) = \frac{x}{6} * \frac{x-3}{3} * \frac{x-9}{-3} * \frac{x-12}{-6} = \frac{6}{1944} * (x^4 - 24x^3 + 171x^2 - 324x)$$

$$L_3(x) = \frac{x}{9} * \frac{x-6}{6} * \frac{x-3}{3} * \frac{x-12}{-3} = -\frac{4}{1944} * (x^4 - 21x^3 + 126x^2 - 216x)$$

$$L_4(x) = \frac{x}{12} * \frac{x-3}{9} * \frac{x-6}{6} * \frac{x-9}{3} = \frac{1}{1944} * (x^4 - 18x^3 + 99x^2 - 162x)$$

$$\begin{aligned} L(x) &= \frac{1}{1944} * (0 * (x^4 - 30x^3 + 315x^2 - 1350x + 1944) - 4 * 7.931 \\ &\quad * (x^4 - 27x^3 + 234x^2 - 648x) + 6 * 18.1034 * (x^4 - 24x^3 + 171x^2 - 324x) \\ &\quad - 4 * 26.7241 * (x^4 - 21x^3 + 126x^2 - 216x) + 27.4138 \\ &\quad * (x^4 - 18x^3 + 99x^2 - 162x)) \\ &= \frac{1}{1944} (-31.724x^4 + 856.548x^3 - 7423.42x^2 + 20557.2x + 108.62x^4 \\ &\quad - 2606.89x^3 + 18574.1x^2 - 35193x - 106.896x^4 + 2244.82x^3 - 13468.9x^2 \\ &\quad + 23089.6x + 27.4138x^4 - 493.448x^3 + 2713.97x^2 - 4441.04x) \\ &= \frac{1}{1944} (-2.5862x^4 + 1.0344x^3 + 305.692x^2 + 4012.73x) \\ &= -0.00133035x^4 + 0.000532099x^3 + 0.203545x^2 + 2.06416x \\ &\approx -0.00133x^4 + 0.000532x^3 + 0.204x^2 + 2.06x \end{aligned}$$

Мы построили графики зависимости потерь КПД в первые три дня после прилета от числа пересеченных часовых зон для перелетов 1) на запад и 2) на восток.

1) Для перелета на восток:

$$y = -0.00133x^4 + 0.000532x^3 + 0.204x^2 + 2.06x$$

2) Для перелета на запад:

$$y=0.000976x^4-0.025x^3+0.145x^2+2.47x$$

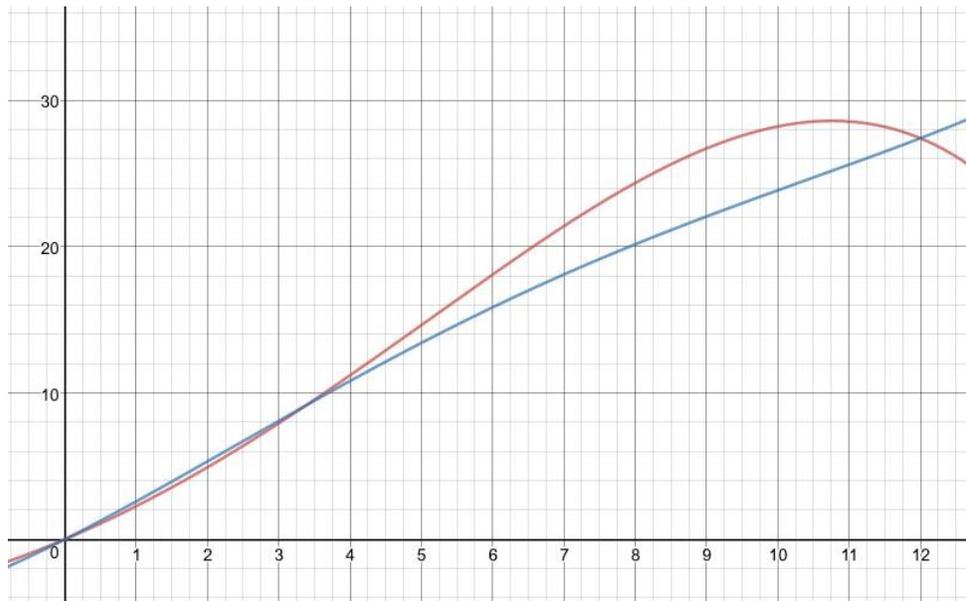


График 2

— Восток  
— Запад

Где  $x$  – число пересеченных часовых поясов, а  $y$  – средняя мера тяжести за три дня.

Очевидно, что данные формулы не будут работать для  $x < 3$ , так как джетлаг будет длиться меньше трех дней, а, значит, будет влиять на участника только в начале встречи. Из данных, которые приблизительно отображают время, необходимое на восстановление после джетлага, мы вывели, что при движении на восток после пересечения одного часового пояса потребуется 1 день на восстановление, после пересечения двух поясов – 2 дня. При движении на запад –  $2/3$  дня после пересечения одного пояса,  $4/3$  при пересечении двух поясов. Для устранения этой проблемы были найдены потери КПД в течение первого и второго дней после перелета на восток и в течение первых  $2/3$  и  $4/3$  дня после перелёта на запад. По ним была проведена интерполяция.

Для движения на восток:

1 день:

$$y=0.000895 x^4-0.0364 x^3+0.272 x^2+2.93 x$$

2 день:

$$y=-0.00053 x^4-0.0075 x^3+0.13 x^2+2.85 x$$

Для движения на запад:

Первые 2/3:

$$y_3 = 0.00071 x^4 - 0.0277 x^3 + 0.176 x^2 + 3.15 x$$

Первые 4/3:

$$0.000309x^4 - 0.0164 x^3 + 0.109 x^2 + 2.97 x$$

Далее были найдены значения этих функций при  $x=1$  для функций 1 и 3 и  $x=2$  для функций 3 и 4. Эти потери КПД будут оказывать влияние только в начале встречи, поэтому мы находим средние потери КПД.

Для полета через 1 пояс на восток:

$$y = 1.06$$

Для перелета через 2 пояса на восток:

$$y = 4.1$$

Для перелета через 1 пояс на запад:

$$Y = 0.73$$

Для перелета через 2 пояса на запад:

$$y = 2.76$$

Для каждого пояса, в котором предполагается встреча, считается суммарная производительность группы учёных. Далее полученные результаты сортируются в иерархию приоритетности.

## 2.1 Влияние климата

При перелете из одного города в другой с иным климатом у людей, как правило, ухудшается самочувствие и, соответственно, падает эффективность умственного труда. Физиологией человека обусловлен процесс, целью которого является адаптация к изменившимся условиям, и на это затрачивается значительное количество энергии. Чем сильнее новый климат отличается от домашнего, тем большие неудобства человек испытывает: нарушается сон, теряется концентрация, появляются симптомы, характерные для вирусных заболеваний.

Мы создали алгоритм, который определяет, насколько тяжёлыми будут последствия перелета из одного климатического пояса в другой.

Для этого мы создали формулу расчета уровня комфорта участника исследования в его домашнем климате. Она основана на уравнении Ван-Зейлена.

$$K = 7,83 - 0,0968t_{ст} - 0,0367P_{п} + 0,0367\sqrt{V(37,8 - t_{в})}$$

$K$  – степень комфорта;

$t_v$  – температура воздуха;  
 $t_{ст}$  – средняя температура помещения;  
 $P_{п}$  – атмосферное давление, Па;  
 $V$  – ветер, м/с;  
 Шкала комфорта:  
 $K = 1$  – очень жарко;  
 $K = 2$  – слишком тепло;  
 $K = 3$  – тепло, но приятно;  
 $K = 4$  – комфорт;  
 $K = 5$  – прохладно, но приятно;  
 $K = 6$  – холодно;  
 $K = 7$  – очень холодно.

Для визуализации формулы были составлены графики зависимости итогового значения от каждого из вводимых параметров

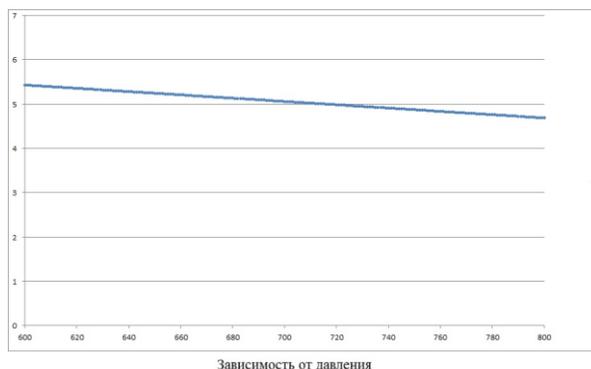


График 3

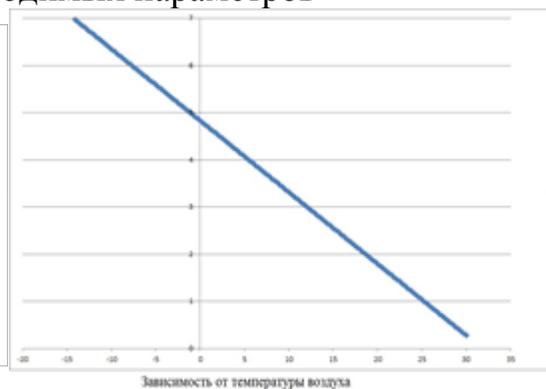


График 4

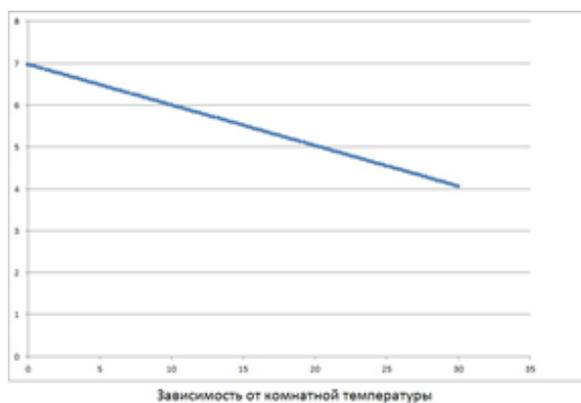


График 5

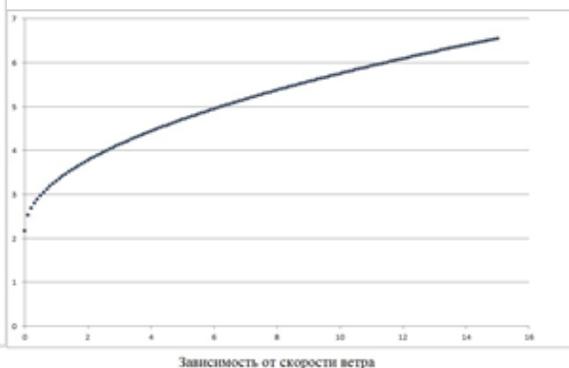


График 6

В дальнейшем мы преобразовали полученную формулу, отняв от начальной степени комфорта конечную, и получили уравнение, которое показывает уровень дискомфорта при перемещениях: чем больше модуль, взятый от данного числа, тем тяжелее будет перенесен перелет.

Из анализа ряда исследований<sup>2</sup> мы выявили, как уменьшается

<sup>2</sup> <http://www.emcmos.ru/articles/simptomy-aklimatizacii-i-sposoby-ee-lecheniya> -

работоспособность человека в зависимости от того, в какой климатический пояс (более холодный либо более теплый) производится перелет, а именно перелет в более холодную зону переносится в два раза легче, чем перелет в более теплую.

В результате всех вышеперечисленных преобразований формула приобрела следующий вид:

В теплую сторону ( $K > 0$ ):

$$K_{\text{итог}} = 0,1(t_{в2} - t_{в1}) + 0,00372 \cdot (P_{п2} - P_{п1}) + 0,0367(\sqrt{V1(37,8 - t_{в1})} - \sqrt{V2(37,8 - t_{в2})})$$

В холодную сторону ( $K < 0$ ):

$$K_{\text{итог}} = (0,1(t_{в2} - t_{в1}) + 0,00372 \cdot (P_{п2} - P_{п1}) + 0,0367(\sqrt{V1(37,8 - t_{в1})} - \sqrt{V2(37,8 - t_{в2})})) / 2$$

На основе полученной формулы мы создали алгоритм, который автоматически преобразует данные об уровне дискомфорта после перелёта в таблицу. При этом учитывается климатический пояс места вылета, климатический пояс места прилёта и время перелёта с точностью до месяца.

---

статья о различиях акклиматизации в различных условиях

<http://www.bioespacios.es/> - исследование о реакции организма на повышение окружающей среды

<http://themonkeycage.org/2012/09/2-per-degree-celsius-the-magic-number-for-how-worker-productivity-responds-to-warm-hot-temperatures/> - исследование о изменении продуктивности человека при изменении температуры в помещении

AO157

=ABS(0,1\*(ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SБ157-1)\*5+2;NS1+1)-ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SA157-1)\*5+2;NS1+1))+0,00372\*(ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SБ157-1)\*5+3;NS1+1)-ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SA157-1)\*5+3;NS1+1))+0,0367\*(КОРЕНЬ(

Полный вид таблицы Таблица 6

E102

=ЕСЛИ(ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SA102-1)\*5+2)>ИНДЕКС(\$P\$1:\$AB\$64;(SБ102-1)\*5+2);AF102/2;AF102)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				1	2	3	4	5	6	7
2	1	2	0,25064	0,17469	0,03038	0,10633	0,16709	0,18988	0,18988	0,136
3	1	3	0,78891	0,73259	0,55704	0,33922	0,14088	0,0174	0,08139	0,066
4	1	4	1,50708	1,4475	1,24188	0,95505	0,63668	0,31305	0,06244	0,069
5	1	5	3,20227	3,087	2,64703	2,03561	1,47272	1,04482	0,79747	0,9
6	1	6	4,1743	4,08908	3,58214	2,94334	2,1988	1,51165	1,14614	1,36
7	1	7	6,29864	6,31239	5,93772	5,09908	3,96811	2,79915	2,21981	2,464
8	1	8	0,16481	0,18076	0,19519	0,23089	0,29925	0,34026	0,35241	0,287
9	1	9	0,50497	0,54763	0,60834	0,75176	0,92118	1,03456	1,01176	0,935
10	1	10	0,46435	0,51681	0,67839	0,93706	1,17318	1,33861	1,34561	1,270
11	1	11	1,31336	1,35739	1,50003	1,717	1,94153	2,08713	2,08557	2,009
12	1	12	1,18411	1,41487	1,92714	2,66109	3,52723	4,01053	4,13632	4,035
13	1	13	2,25779	2,51728	3,25491	4,47457	5,61992	6,088	6,26066	6,259
14	2	1	0,50128	0,34937	0,06076	0,21266	0,33418	0,37975	0,37975	0,273
15	2	3	0,53827	0,5579	0,52666	0,44555	0,30797	0,17248	0,10849	0,070
16	2	4	1,25645	1,27281	1,2115	1,06138	0,80377	0,50293	0,25231	0,206
17	2	5	2,95163	2,91231	2,61665	2,14194	1,63981	1,23469	0,98734	1,067
18	2	6	3,92366	3,91439	3,55176	3,04967	2,36589	1,70152	1,33602	1,498
19	2	7	6,048	6,1377	5,90734	5,20541	4,1352	2,98903	2,40969	2,600
20	2	8	0,17165	0,01215	0,32963	0,67444	0,93268	1,06027	1,08458	0,847
21	2	9	0,25433	0,37294	0,57796	0,85809	1,08827	1,22444	1,20163	1,07
22	2	10	0,21371	0,34212	0,64801	1,04339	1,34027	1,52849	1,53549	1,407
23	2	11	1,06272	1,18271	1,46965	1,82333	2,10863	2,27701	2,27544	2,146
24	2	12	0,93348	1,24018	1,89676	2,76742	3,69433	4,20041	4,3262	4,172
25	2	13	2,00715	2,34259	3,22453	4,5809	5,78701	6,27788	6,45054	6,395
26	3	1	1,57782	1,46518	1,11408	0,67843	0,28176	0,0348	0,16277	0,132
27	3	2	1,07655	1,11581	1,05332	0,89109	0,61595	0,34495	0,21698	0,141
28	3	4	0,71817	0,71491	0,68484	0,61584	0,4958	0,33045	0,14382	0,135
29	3	5	2,41336	2,35441	2,08999	1,69639	1,33184	1,06222	0,87885	0,997
30	3	6	3,38539	3,35649	3,0251	2,60413	2,05792	1,52905	1,22752	1,42
31	3	7	5,50973	5,5798	5,38068	4,75987	3,82722	2,81655	2,3012	2,530
32	3	8	1,24819	1,10366	0,72369	0,21665	0,31673	0,71532	0,86759	0,706
33	3	9	0,56789	0,36992	0,1026	0,8251	1,5606	2,10392	2,18629	2,002
34	3	10	0,64913	0,43156	0,2427	1,19569	2,0646	2,71202	2,854	2,674
35	3	11	0,52445	0,6248	0,94299	1,37778	1,80065	2,10453	2,16695	2,075
36	3	12	0,3952	0,68228	1,3701	2,32187	3,38635	4,02793	4,21771	4,102
37	3	13	1,46888	1,78469	2,69786	4,13535	5,47904	6,1054	6,34205	6,325
38	4	1	3,01417	2,895	2,48375	1,91011	1,27336	0,6261	0,12487	0,13
39	4	2	2,51289	2,54563	2,42299	2,12277	1,60755	1,00585	0,50463	0,412
40	4	3	1,43634	1,42982	1,36967	1,23167	0,9916	0,6609	0,28765	0,271
41	4	5	1,69519	1,6395	1,40515	1,08056	0,83604	0,73177	0,73503	0,861
42	4	6	2,66722	2,64158	2,34027	1,98829	1,56212	1,1986	1,0837	1,292
43	4	7	4,79155	4,86489	4,69584	4,14403	3,33142	2,4861	2,15737	2,394
44	4	8	2,68544	2,53348	2,09337	1,44833	0,67487	0,05442	0,57995	0,435
45	4	9	2,00423	1,79974	1,26708	0,40658	0,569	1,44302	1,89864	1,731
46	4	10	2,08547	1,86138	1,12697	0,03598	1,07299	2,05112	2,56635	2,402

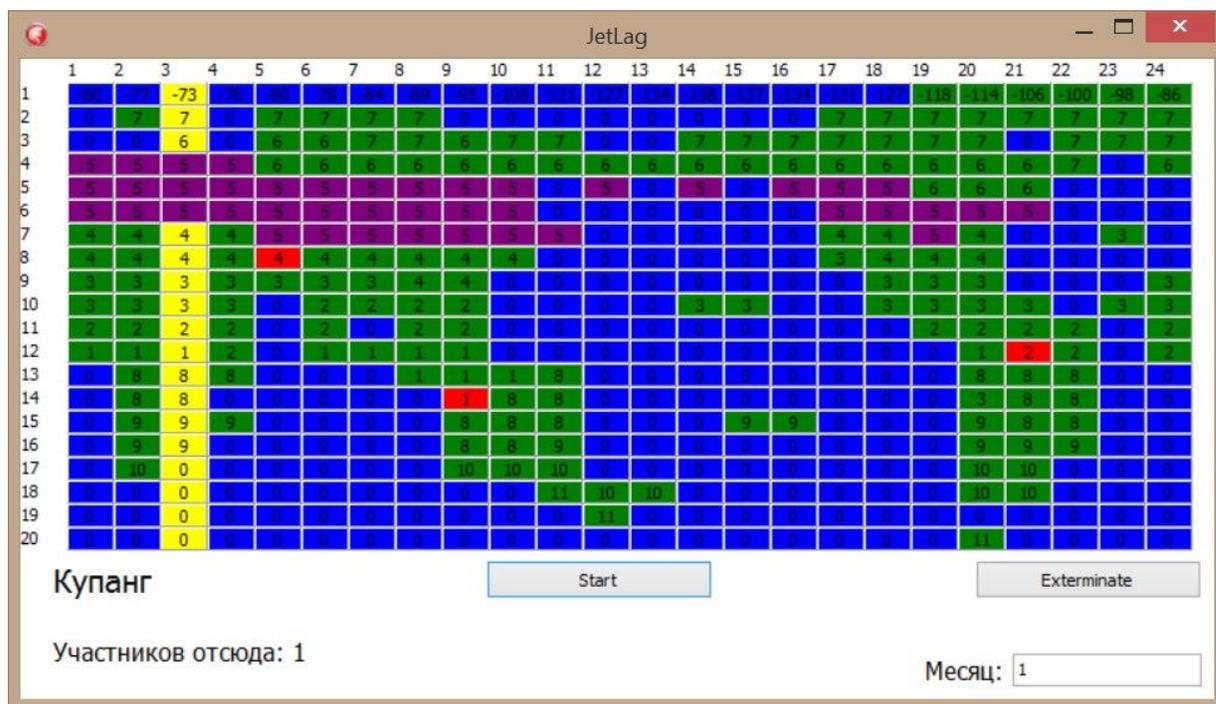
Приближение Таблица 7

Суть алгоритма заключается в следующем: в таблицу 6\_2 вносятся данные о климате. После этого по выведенному уравнению заполняется вся таблица 6\_3, в которой каждому месяцу соответствует тяжесть всех возможных пар перелетов. Далее из таблицы 6\_3 данные переносятся в таблицу 6\_1, и, если значение температуры в точке прилёта меньше, чем в точке вылета, то показатель дискомфорта делится на два. Итоговым результатом является таблица 6\_1.

На основе данных о снижении производительности можно вычислить снижение суммарного КПД при переборе климатических поясов.

### 2.3 Пересечение

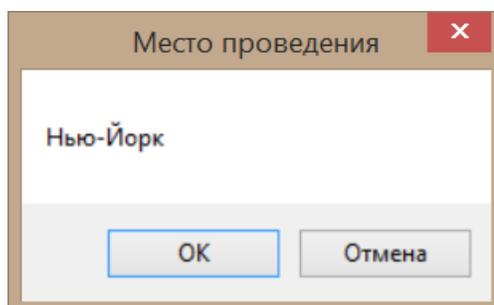
После этого выбираются два пояса – самый приоритетный часовой и самый приоритетный климатический. Их пересечение будет указывать на оптимальный для проведения встречи сектор.



Изображение 3: Пересечение оптимального часового и климатического пояса

Может так оказаться, что пересечений вообще нет. Это может случиться, так как не все климатические пояса есть во всех часовых, или пересечение может находиться в жаркой пустыне или посреди океана. В таком случае мы начинаем спускаться по иерархии приоритетности. Исследования показали, что смена часовых поясов сильнее влияет на производительность, нежели смена климата. Исходя из этого, мы спускаемся по иерархии приоритетности климатических поясов, выбирая следующий пояс и проводя те же рассуждения, что и с первым.

Если в результате их пересечения мы получили лишь один сектор, то решение найдено, лучшее место для проведения – этот сектор.



Если пересечений больше, чем одно, то мы запоминаем их все, а выбор будет сделан на основе анализа влияния вторичных параметров.

### 3. Анализ вторичных параметров

Как уже было сказано выше, этот модуль вступает в силу, если анализ первичных параметров не дал нам однозначного результата. Здесь мы

перебираем не все варианты, а только те, что наиболее удовлетворяли нашим запросам по первичным параметрам. Для каждого из полученных пересечений считается наибольшая производительность по вторичным параметрам. Квадрат с наибольшей производительностью и будет оптимальным местом проведения.

### **Расчет стоимости**

Иногда случается так, что есть несколько мест проведения, которые будут одинаково подходить по климатическому и часовому поясам, но выбрать нужно лишь один из них. Для разрешения этой проблемы мы вводим такой параметр, как стоимость.

Итоговая стоимость полета складывается из двух параметров: стоимости самого перемещения и платы за питание во время него.

Проанализировав ряд данных по данной теме, мы нашли среднюю цену за километр по всему миру – 9,08 руб. Также была найдена система скидок на данную цену, если перелет осуществляется на расстояние больше определенного. В частности, в случае перелета на расстояние больше 1000 т. км., скидка на итоговую стоимость составляет 10%, а при перелете на больше, чем 3000 т. км. – 15%.

Также были найдены данные по расчету стоимости питания, на основании которых мы сделали вывод, что за каждую тысячу километров маршрута стоимость, на которую компания предоставит вам питание, увеличивается от изначального нуля на 100.

Общая формула, по которой производится расчет выглядит следующим образом:

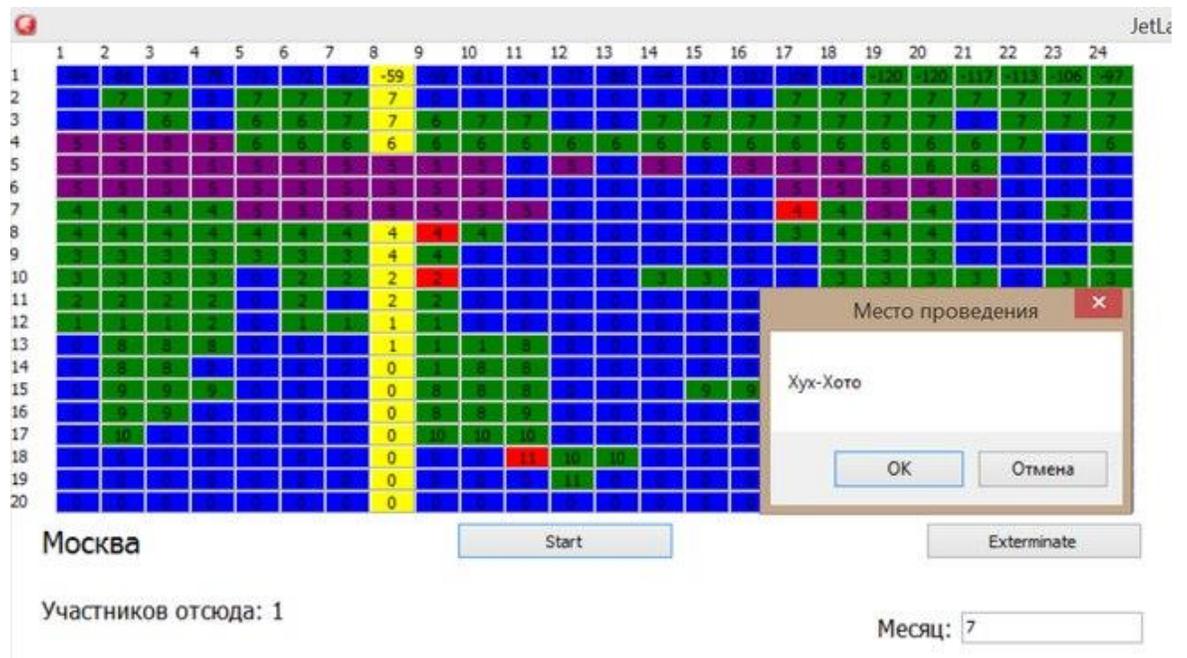
$$\left[ \begin{cases} l < 1000 \\ s = (l * 9,08) + \left\lfloor \frac{l}{1000} \right\rfloor * 100 \end{cases} \right. \\ \left[ \begin{cases} 3000 > l > 1000 \\ s = (l * 9,08) * 0.9 + \left\lfloor \frac{l}{1000} \right\rfloor * 100 \end{cases} \right. \\ \left[ \begin{cases} 3000 < l \\ s = (l * 9,08) * 0.85 + \left\lfloor \frac{l}{1000} \right\rfloor * 100 \end{cases} \right.$$

где s – итоговая стоимость, l – длина маршрута.

## Тест программы на заданных примерах

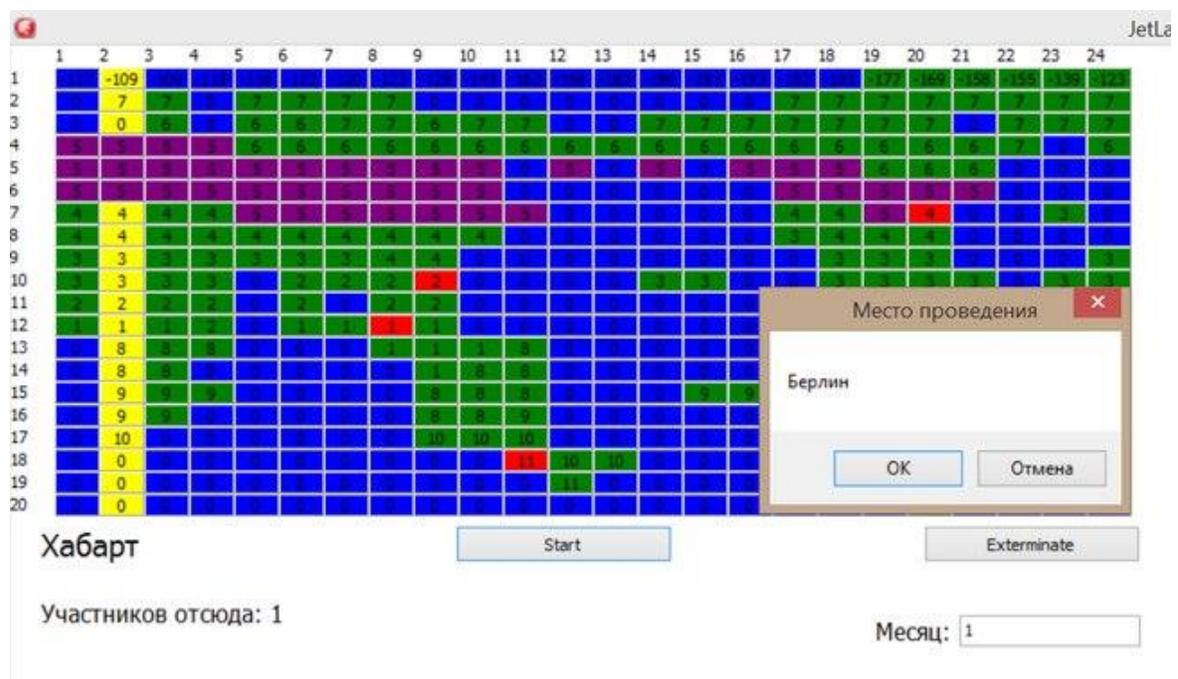
В нашу программу были введены примеры, представленные в условии:

Малая встреча:



Лучшим городом для проведения малой встречи оказался китайский город Хух-Хото.

Большая встреча:



Лучшим городом для проведения Большой встречи оказался Берлин.

Преимущества	Недостатки
В нашей модели не имеет значения, насколько сильно джетлаг и смена климата влияют на ЭУТ, отсутствует необходимость определять их “вес”, что обычно вызывает большие затруднения, так как информация о “весе” отсутствует и методы его определения не ясны.	Мы не проводили более точное разделение климата (например на континентальный и приморский), так как это блокирует работу нашего алгоритма. На наш взгляд, преимущества, описанные в пункте 1, перевешивают данный недостаток.
Количество данных, определенных качественно, сведено к минимуму.	Не удалось найти данные о том, насколько возраст влияет на джетлаг, поэтому наша модель не учитывает возраст участников встречи.
Интерфейс программы, с помощью которой реализован наш алгоритм.	Карта могла бы быть разделена на гораздо меньшие сектора, что увеличило бы точность, однако попутно во много раз увеличило бы объем информации, который необходимо собрать.

### **Вывод:**

Мы подошли к решению проблемы нахождения оптимального места проведения конференции, разработав модель условий перелета, которая, исходя из входных данных, определяет его. Для любого возможного набора точек отправки модель учитывает вводимые города и определяет, и сопоставляет лучшие климатические и часовые пояса, и выбирает из находящихся на их пересечениях городов наиболее экономически выгодный. Эта модель была реализована нами в виде готовой программы, которая может быть крайне полезна для любого организатора конференции, заинтересованного в ее максимальной продуктивности, поскольку программа не требует от него каких бы то ни было специальных навыков или знаний для ее использования, но при этом дает достоверный результат с точностью до города. Дальнейшее ее улучшение также возможно, в частности - уменьшение масштаба. Но на данный момент, несмотря на некоторое заданное в условии отклонение от реальности (в частности, отсутствие влияния политической составляющей на итоговый результат, а это является важным фактором), может быть успешно использована для решения указанной задачи.

Источники:

<https://moluch.ru/archive/60/8732/>

<http://constructor.ru/zdorovie/sindrom-smeny-chasov..>

<http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/jet-lag..>

<https://www.sleepassociation.org/patients-general-pub..>

<http://expatchild.com/how-long-does-jet-lag-last/>

<http://www.sciencealert.com/physicists-think-they-know-why-jet-lag-is-so-much-worse-when-you-fly-east>

<http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/jet-lag/basics/symptoms/con-20032662>

<https://www.sleepassociation.org/patients-general-public/jet-lag/>

<http://www.nojetlag.com/flight-attendants-survey-on-jet-lag.html>

Resynchronization of circadian oscillators and the east-west asymmetry of jet-lag, Chaos, September 2016